第八章　量度恆星

8.1 恆星的光

- 恆星內部的溫度非常高，氣體粒子以高速運動，發生很多碰撞，發出光波 (一般而言是電磁波)
  - 猛烈的碰撞釋放高能量光波，這些光波的波長較短
  - 溫和的碰撞釋放低能量光波，這些光波的波長較長
  - 恆星發出許多不同波長的光波，因此星光由許多不同的波長的色光組成，利用分光儀 (三稜鏡)，星光可以被分解成像彩虹一樣的連續光譜 (Continuous spectrum) 。光強度隨波長的分佈如圖 8-1 所示
- 在高溫恆星的表面，粒子以高速度運動，
  - 發生較多碰撞，發出較多光波。因此表面溫度高的恆星發光較多
  - 發生較多猛烈的碰撞，發出較多高能量的光波。因此表面溫度高的恆星的光譜強度在波長較短的地方到達極大值
- 高能的光波偏近藍色，低能的光波偏近紅色。表面溫度高的恆星發出較多高能量的光波，因此是藍白色的，而溫度低的恆星則是紅色的
- 簡單來說，
  - 表面熱的恆星發光較多，表面冷的恆星發光較少
  - 表面熱的恆星是藍白色的，表面冷的恆星是紅色的

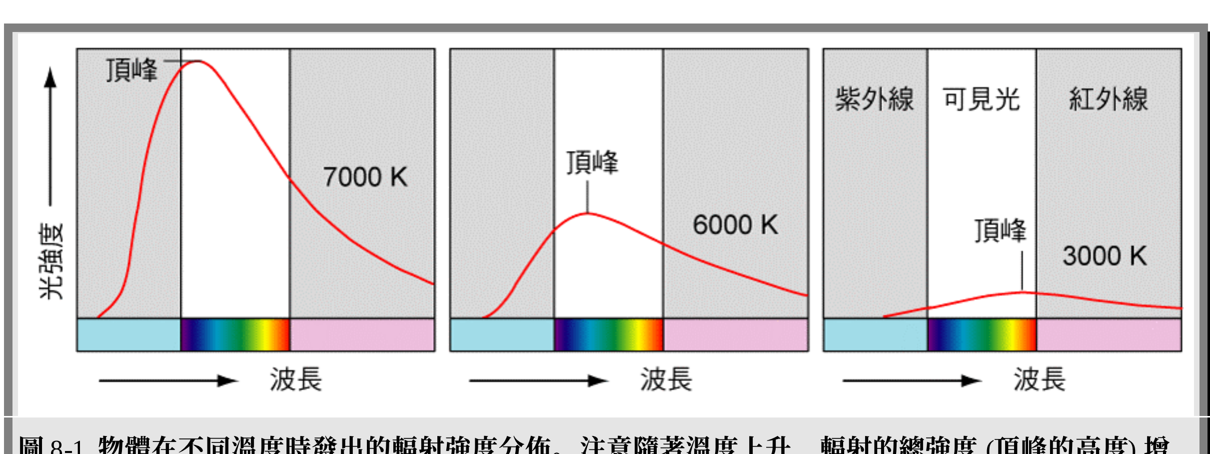


圖 8-1 物體在不同溫度時發出的輻射強度分佈。注意隨著溫度上升，輻射的總強度 (頂峰的高度) 增加，即發光較多；而頂峰的位置亦移向較短的波長，即發射較多短波長 (藍色) 的光波。

8.2 恆星光譜 (Stellar spectrum)

- 當原子中的電子從一個能階躍遷至另一能階時，原子便會吸光或放光 (圖 8-2)。
  - 原子吸光：電子由低能階躍遷至一高能階時，所吸收的光能量恰好等於這兩個能階的能量差
  - 原子放光：電子由高能階躍遷至一低能階時，所釋放的光能量恰好等於這兩個能階的能量差

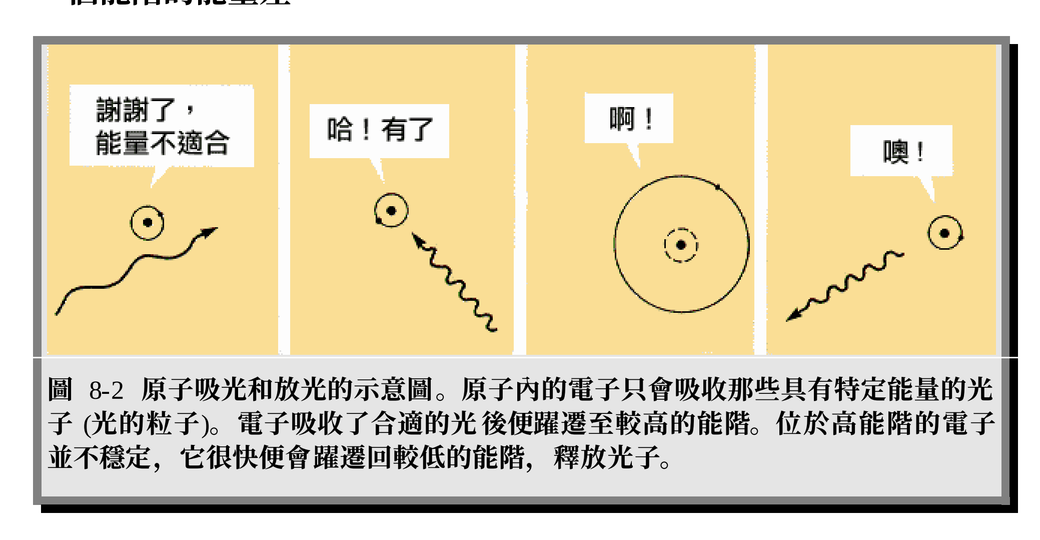


圖 8-2 原子吸光和放光的示意圖。原子內的電子只會吸收那些具有特定能量的光子 (光的粒子)。電子吸收了合適的光 後便躍遷至較高的能階。位於高能階的電子並不穩定，它很快便會躍遷回較低的能階，釋放光子。

- 每種元素的原子都有一組特定的、與眾不同的能階。
  - 原子吸收或發出的光波具有特定的波長，並對應於該種原子能階的能量
  - 那些與原子發生作用的光波波長，就像原子的手指模，可使我們辨認出某種元素的存在。例如我們分析霓虹燈發出的橙紅光線，便知道霓虹燈內有氖 (neon) 元素的原子
- 恆星的光有許多不同波長的光波，形成連續光譜 (一道彩虹)。當這些光經過恆星表面一些較稀薄的氣體時，氣體中的原子便會吸收了某些波長的光波。那些波長的光波的強度減低了，使連續光譜上相應的位置出現了黑線，稱為吸收線 (Absorption line) (圖 8-3, 4)

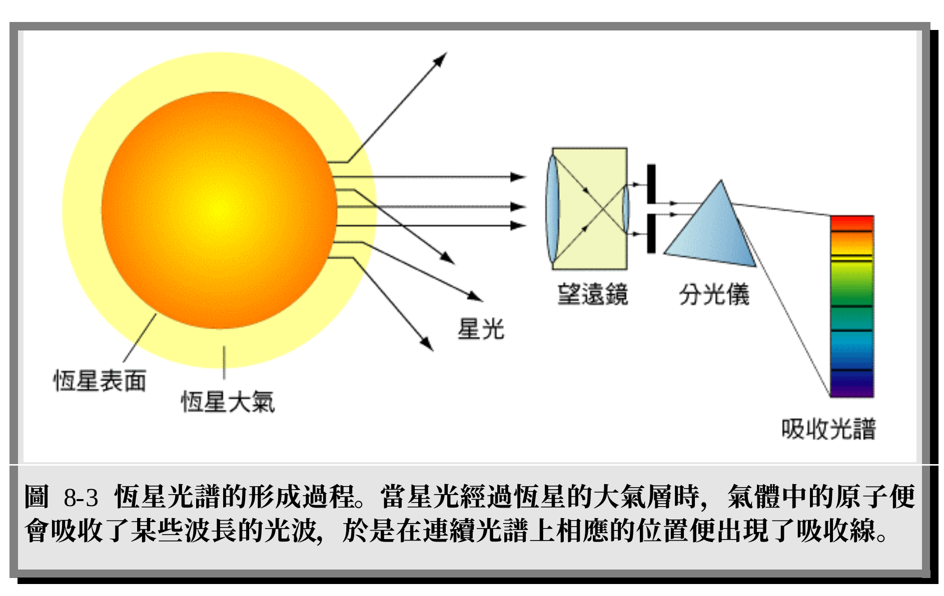


圖 8-3 恆星光譜的形成過程。當星光經過恆星的大氣層時，氣體中的原子便會吸收了某些波長的光波，於是在連續光譜上相應的位置便出現了吸收線。

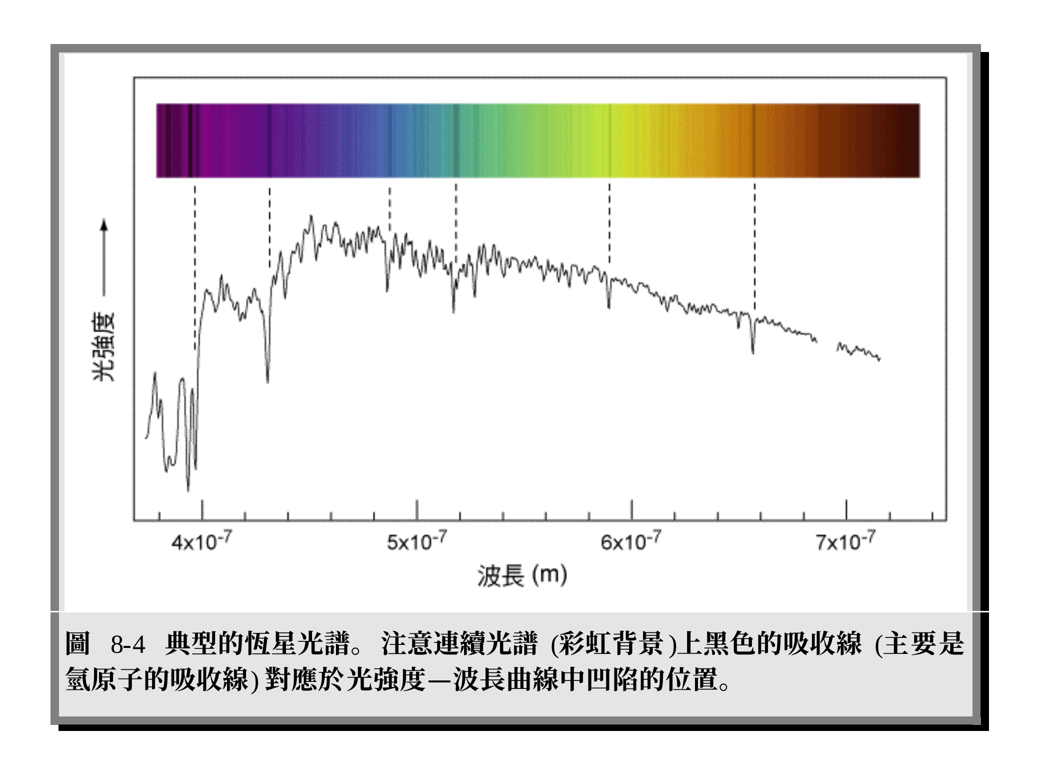


圖 8-4 典型的恆星光譜。注意連續光譜 (彩虹背景)上黑色的吸收線 (主要是氫原子的吸收線) 對應於光強度—波長曲線中凹陷的位置。

- **帶有吸收線的連續光譜，稱為吸收光譜** (Absorption spectrum) 。
- **由於不同的元素會在恆星光譜中不同的位置 (波長) 產生吸收線，我們分析吸收線的位置，便可以辨認出在恆星表面有哪些元素存在 (圖** 8-5)。
- **我們亦可以利用光譜強度分佈頂峰的位置 (波長) 來估計恆星的表面溫度** (surface temperature) (**圖** 8-1)。

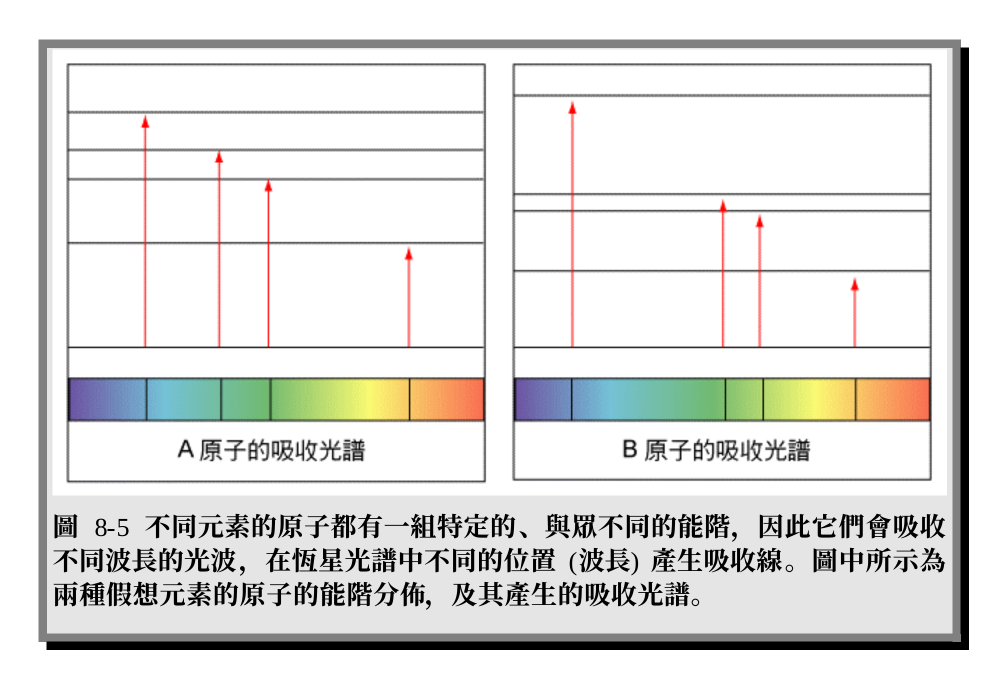


圖 8-5 不同元素的原子都有一組特定的、與眾不同的能階，因此它們會吸收不同波長的光波，在恆星光譜中不同的位置 (波長) 產生吸收線。圖中所示為兩種假想元素的原子的能階分佈，及其產生的吸收光譜。

8.3 恆星光譜分類

- **恆星光譜特徵與表面溫度的關係**
  - **恆星的光譜大致可分為** 7 **類：**O, B, A, F, G, K, M
  - **記憶方法：**

    O Be A Fine Girl Kiss Me
  - O **型星表面最熱，** M **型星表面最冷**
  - **太陽是一顆** G **型恆星；織女星** (Vegas) **是一顆** A **型恆星**
  - **每一型又可分為十個次型：例如** B **型可分為** B0, B1, B2, …B9.

光譜類型 (spectral class)	大約表面溫度 (K)
O	40,000
B	20,000
A	10,000
F	7,500
G	5,500
K	4,500
M	3,000

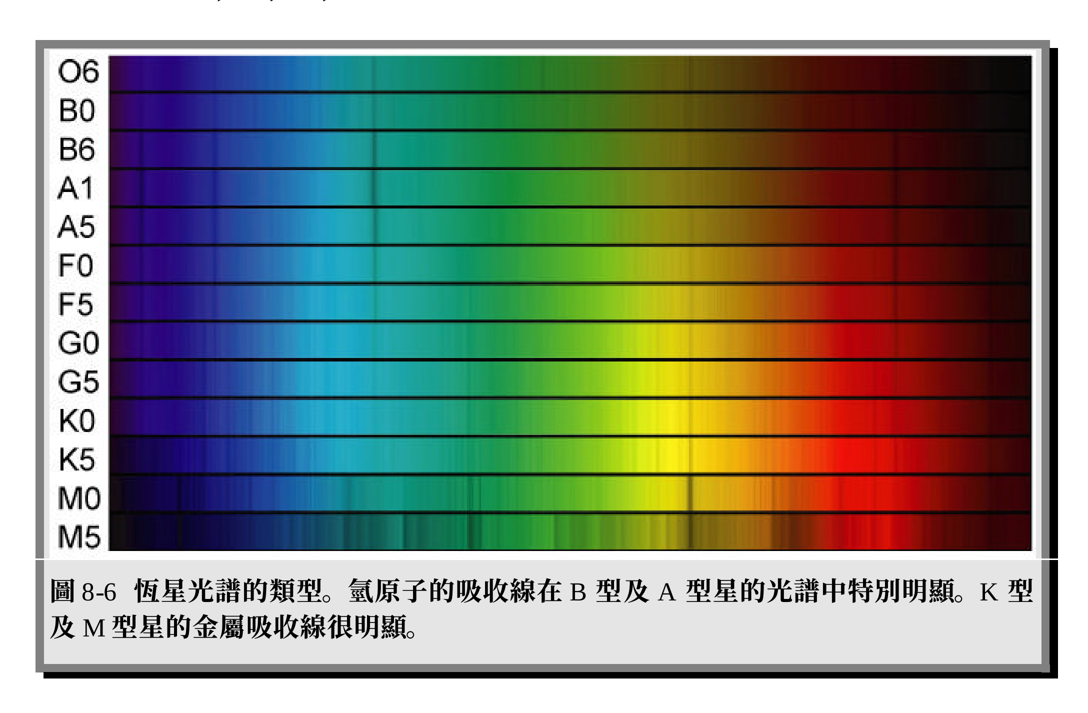


圖 8-6 **恆星光譜的類型。氫原子的吸收線在** B **型及** A **型星的光譜中特別明顯。**K **型及** M **型星的金屬吸收線很明顯。**

8.4 恆星光度 (Stellar luminosity)

- **視星等** (apparent magnitude) **是在地球上量度得恆星之星等**
  - **較遠的物體顯得較暗，因此恆星的距離越遠，看起來就越暗，視星等的數值也越高** (**見第二章**)
  - **因此視星等並不反映恆星的真正光度**
- **絕對星等** (absolute magnitude)**：假想把所有恆星置於距離觀測者同一距離時，所量得恆星之星等**
  - **摒除距離的因素，只取決於恆星的真正光度，即恆星發光的多少**
- **恆星的真正光度取決於恆星的大小以及表面溫度**

– 龐大恆星的表面積很大，發光面積較多，因此光度較大
– 表面溫度高的恆星發光較多，因此光度亦較大
– 所以很大而表面很熱的恆星必定很亮；很小而表面很冷的恆星必定很暗
– 但是很大而表面很冷的恆星又會怎樣？這要視乎它有多大而定。有些稱為紅巨星的恆星表面相對地很「冷」，但由於它非常龐大，所以非常光亮。注意雖然它每單位表面積所發的光很少，但龐大的發光表面積可以使整體的光度很大

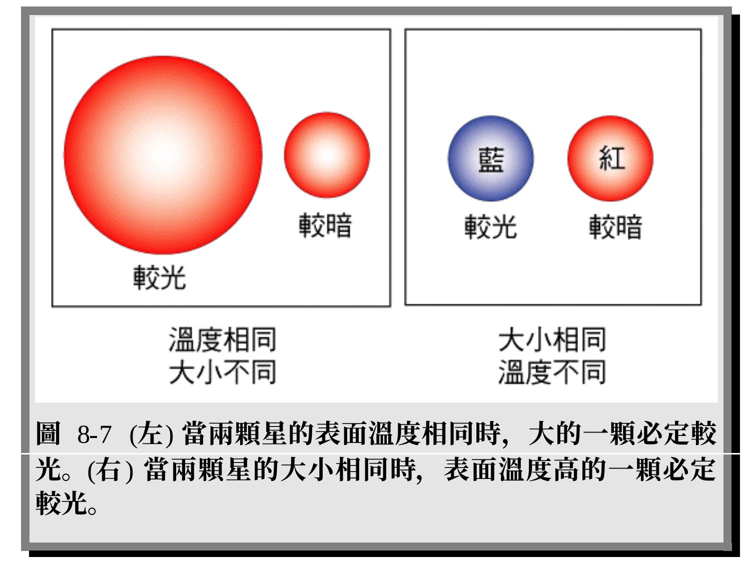


圖 8-7 (左) 當兩顆星的表面溫度相同時，大的一顆必定較光。(右) 當兩顆星的大小相同時，表面溫度高的一顆必定較光。

8.5 赫羅圖 (Hertzsprung Russell diagram, H-R diagram)

• 赫羅圖顯示恆星光度與其表面溫度的關係

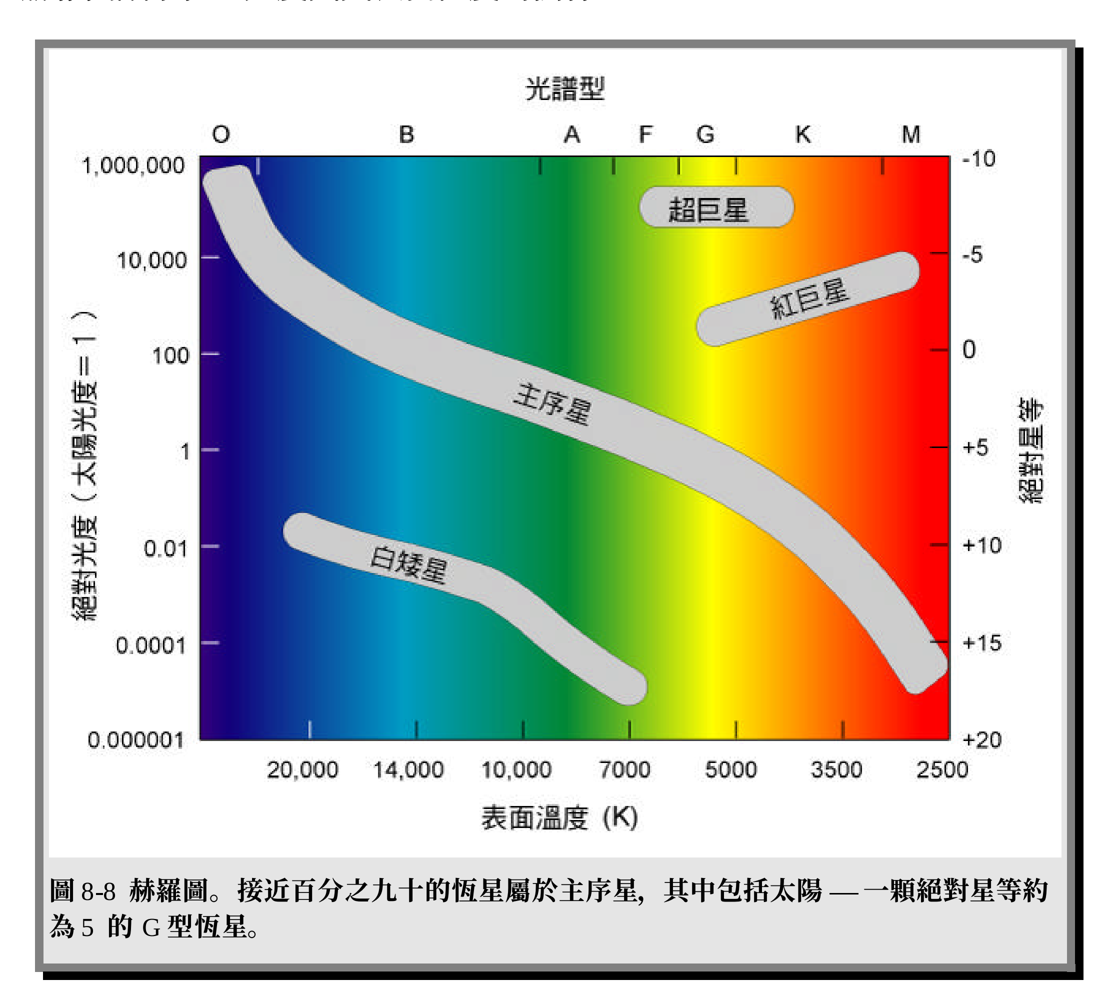


圖 8-8 赫羅圖。接近百分之九十的恆星屬於主序星，其中包括太陽 — 一顆絕對星等約為 5 的 G 型恆星。

- 恆星的光度以絕對星等表示，表面溫度以光譜類型表示
- 圖上方的星較亮，下方的星較暗
- 圖左面的星較熱，右面的星較冷
- 當恆星的年齡增長，它們在圖中的位置亦會改變

- 主序星 (Main sequence star)：散佈在赫羅圖中左上角至右下角的一個帶狀區域 (主星序) (Main sequence) 內，是最多的恆星，佔所有恆星總數約 90 %。
  - 冷的主序星較暗，熱的主序星較亮
  - 太陽是一顆溫度和中等的主序星
- 紅巨星 (Red giant) 位於圖的右上方，它們是表面冷，但很光亮的恆星，因此它們必定很大。巨星直徑是太陽的數十倍至一百倍。超巨星 (Supergiant) 非常光亮，直徑是太陽的幾百至一千倍
- 白矮星 (White dwarf) 位於圖的左下方，它們是表面熱，但很暗的恆星，因此它們必定很細小。事實上白矮星與地球的太小相約

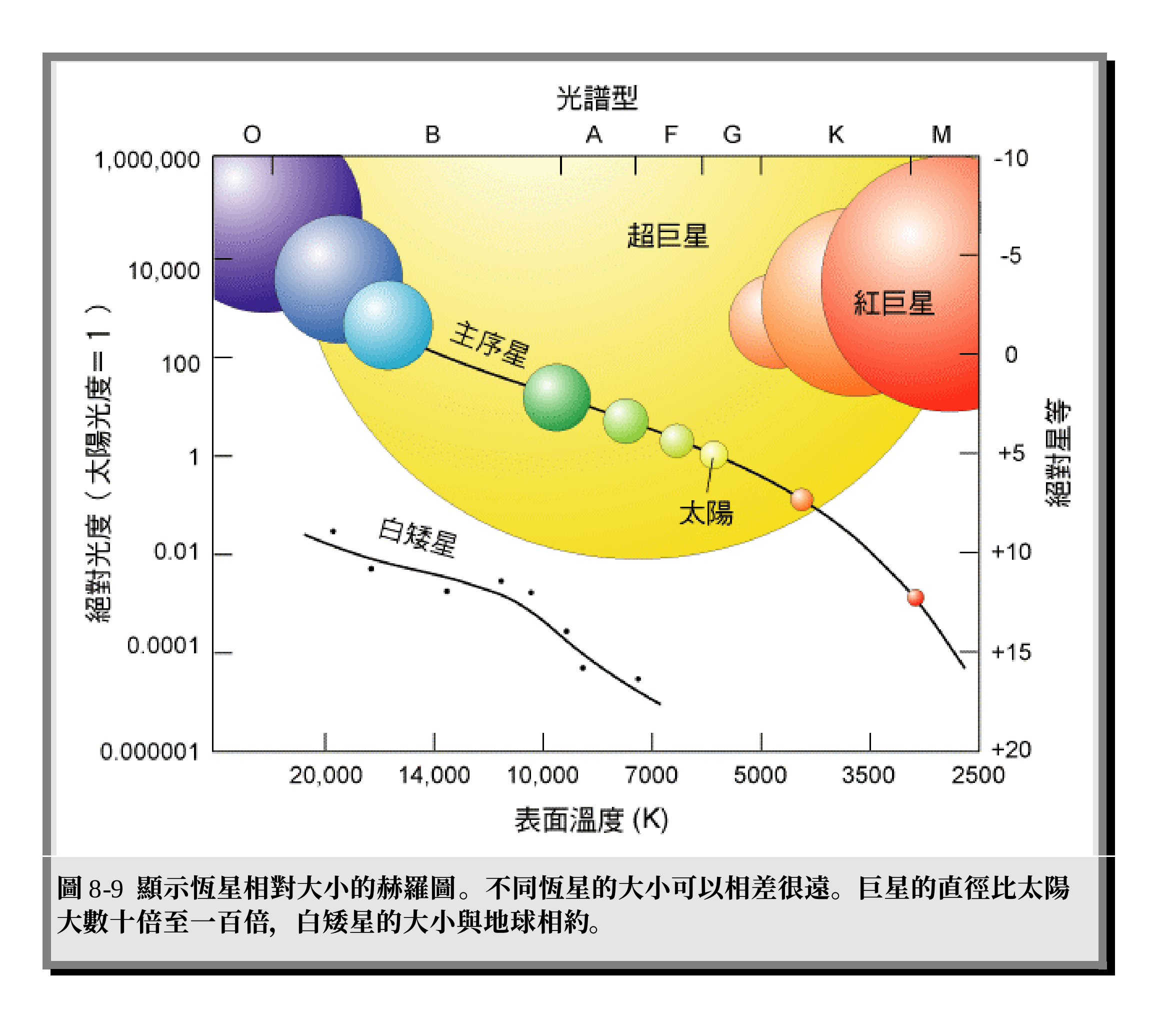


圖 8-9 顯示恆星相對大小的赫羅圖。不同恆星的大小可以相差很遠。巨星的直徑比太陽大數十倍至一百倍，白矮星的大小與地球相約。

- 光譜分類是研究的基礎。知道了不同類別的恆星，便可以建立理論模型，了解恆星結構，與及不同類恆星的差異
- 不同類別的恆星也可能是暗示了恆星生命的不同階段，天文學家可由此推斷出恆星演化理論，了解恆星的生老病死！

8.6 多普勒效應 (Doppler effect)

- **當一個光源正在運動時，觀測者便會看到光波的波長有改變**
  - **觀察者在運動的波源前面看到波長被壓縮，波長變短，偏向藍色的一端，稱為藍移** (blue shift)
  - **觀察者在運動的波源後面看到相反的效應，波長變長，偏向紅色的一端，稱為紅移** (red shift)
- **光源的速度越高，所產生的多普勒效應越大**
  - **根據光波紅 (藍) 移的程度，可以計算出光源沿著觀測方向運動的速度**
  - **根據恆星光譜線的紅 (藍) 移的程度，可以計算恆星沿著觀測方向運動的速度**
- **除非光源的速度非常接近光速，否則多普勒效應產生的恆星光譜線位移一般極小**

頻率降低
波長變長
頻率升高
波長變短

圖 8-10 **當光源移近觀測者時，波長被壓縮，故觀測者接收的波長變短 (藍移)。當光源移離觀測者時，相反的效應出現，觀測者接收的波長變長 (紅移)。所有波動 (包括光波) 都會產生這種名為多普勒效應的現象。**

8.7 恆星的自行

- 恆星在太空中是有運動的，但它們離我們太遠，位置的改變很難察覺。但是如果我們長時間觀測，便會發現星座的形狀正非常緩慢地改變。
- 恆星在天空中的位置改變稱為自行 (Proper motion)。恆星的自行以一年內恆星視位置的改變量度，以角度計算。
- 恆星具有不同程度的自行，是找尋鄰近恆星的重要線索
  - 如果一顆恆星的自行很小，那麼它可能離我們非常遠，亦可能它的運動方向幾乎與我們的視線方向相同。
  - 恆星在太空中的運動速度不會太快。所以如果一顆恆星的自行很大，那麼它一定離我們很近

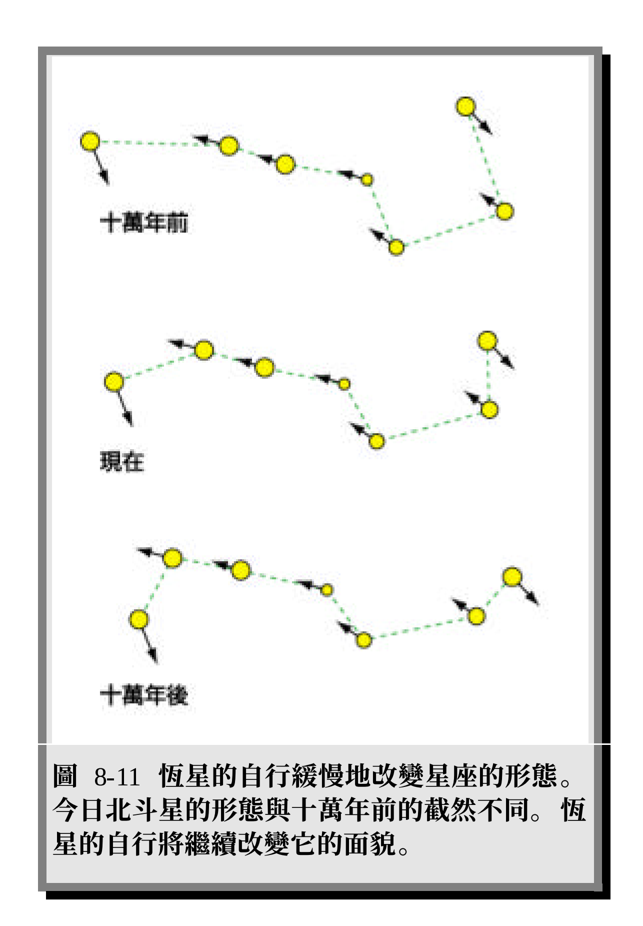


圖 8-11 恆星的自行緩慢地改變星座的形態。今日北斗星的形態與十萬年前的截然不同。恆星的自行將繼續改變它的面貌。

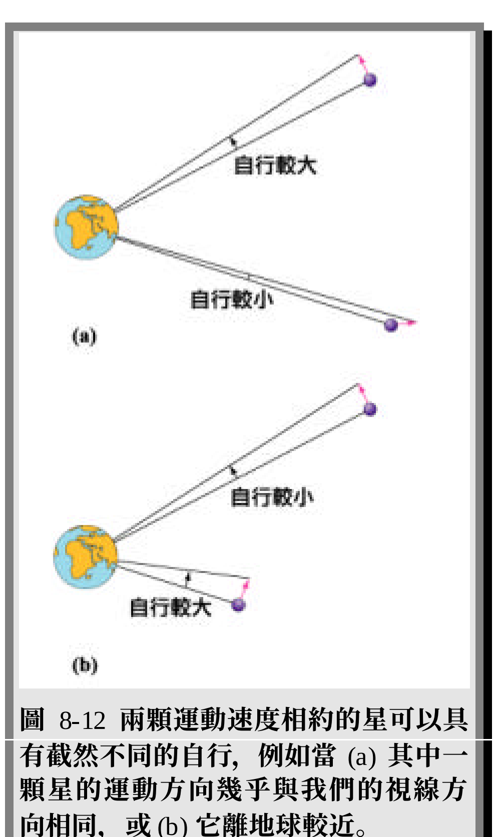


圖 8-12 兩顆運動速度相約的星可以具有截然不同的自行，例如當 (a) 其中一顆星的運動方向幾乎與我們的視線方向相同，或 (b) 它離地球較近。

8.8 恆星的距離

- 視差方法 (Method of parallax) 適用於量度較近恆星的距離。
  - 當地球繞太陽公轉，鄰近恆星的視位置相對於遙遠的恆星背景不斷改變。位置改變的大小，與恆星和太陽的距離有關

- 視差 p (Stellar parallax) 等於六個月內恆星視位置改變值的一半
- 恆星的距離越遠，視差越小，可根據三角學計算出恆星的距離
- 秒差 (Parsec) (pc) 的定義：當恆星的視差為一弧秒 (1″)，它與太陽的距離便定義為 1 pc

  1 pc = 206,265 AU = 3.26 ly

- 地球的大氣層限制了觀測的分辨能力，太遠的恆星視差很小，無法量度。用視差法量得最遠的恆星距離約為 100 pc

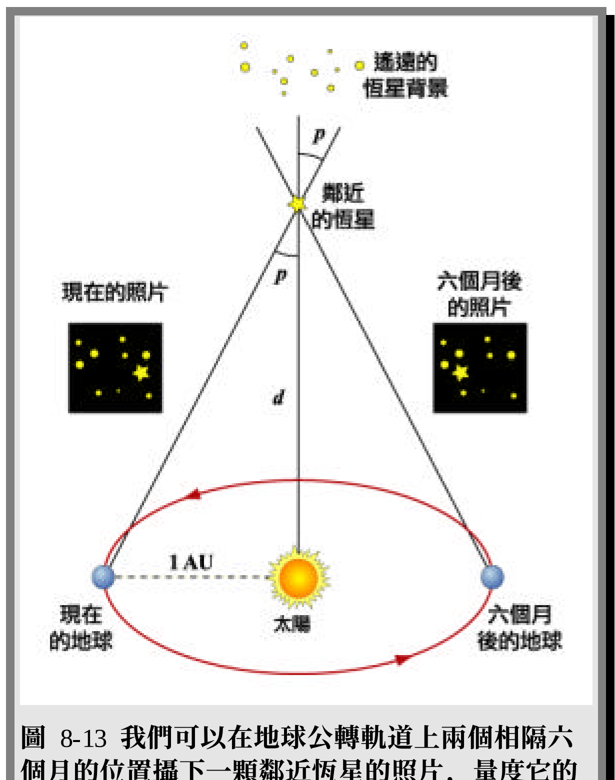


圖 8-13 我們可以在地球公轉軌道上兩個相隔六個月的位置攝下一顆鄰近恆星的照片，量度它的視差。視差 p 就是在兩幅照片中，恆星視位置改變值的一半。